

# 微生物を固定化した竹炭および軽石等の自然物を利用した 水質浄化技術の開発

大竹 孝明<sup>†</sup> 岡林 巧<sup>††</sup> 木原 正人<sup>†††</sup> 下園 広喜<sup>††</sup> 蔵菌 有佑<sup>††</sup> 馬場 秀二<sup>††</sup>

岡林 悦子<sup>††††</sup> 吉田 昌弘<sup>†††††</sup> 幡手 泰雄<sup>†††††</sup> 佐藤 祐一<sup>†††††</sup>

## Development of Water Purification Method by Using the Microbe Fixed Bamboo Charcoal and Pumice Stone

Takaaki OHTAKE, Takumi OKABAYASHI, Masato KIHARA, Hiroki SHIMOZONO,  
Yusuke KURAZONO, Shuji BABA, Etsuko OKABAYASHI, Masahiro YOSHIDA,  
Yasuo HATATE, and Yuichi SATO

In recent years, as for the effect of water pollution on environment, there are various problems, such as its effects on agriculture as well as human body. The contamination of river water is mainly due to the decomposed and colored water. The purpose of this research is to purify water quality using the characteristics of pumice stones which are distributed in South Kyushu and bamboo charcoal, special product of Kagoshima Prefecture.

The influence of the operation conditions in pipe-type circulation formula is considered by adhering microbes to the surface of pumice stones and bamboo charcoal in the shape of a film.

Keywords : Bamboo charcoal, Rivers, Water purification, Natural materials, Microorganism, Biofilm method, Water pollution, Pumice

## 1 緒言

近年、水質汚濁が環境に与える問題として、人体への影響はもちろんのこと農業に対する影響など様々なものがある。地球温暖化などに伴う気候変動や、土地開発により渇水期の中小河川では流量がかなり減少してきている箇所も数多く見られる。さらに、水質汚濁の進んだ河川水が下流域で農業用水として利用されることも多く、上水源として利用されている事例もある<sup>1)</sup>。

また、河川流域の産業の発展に伴い、汚濁排水が農業用水にも排出され、水域の有する自然浄化能力を越える汚濁負荷が生ずる結果、河川の水質が悪化し続けている所は少なくない。鹿児島県内の各中小河川についても、流域産業排水による水質悪化が問題となっ

ている。さらに、現在も農業用水として利用され、その汚染は広がりつつあるため、緊急に対応する必要がある。

河川水の汚染の主な原因は、水が腐敗したり着色したりする問題の発生である。これらは有機物成分や着色成分に由来し、前者は生物化学的な水処理、後者は凝集や活性炭吸着処理プロセス等によって除くことが出来る。

## 2 既往の研究と研究目的

2002年に大竹らは、鹿児島県の地場産業である竹炭を排水処理に用いた報告をしている<sup>2)</sup>。竹炭は多孔質であり、木炭に較べて比表面積が大きく、ろ過機能や吸着能力に優れている。そのため、生活排水や河川等の汚れや悪臭、不純物を吸着するとともに、竹炭に付着した微生物が水質汚染となる有機物を分解し、水質を浄化する能力を持つという研究内容である。また、2006年に下園らは、同様な手法で軽石の細孔内に生物

<sup>†</sup> 一般教育科理系

<sup>††</sup> 土木工学科

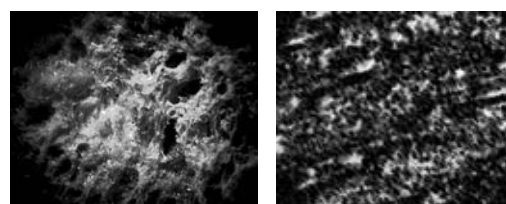
<sup>†††</sup> 技術室

<sup>††††</sup> 第一工業大学土木工学科

<sup>†††††</sup> 鹿児島大学工学部応用化学工学科

膜を付着させ、管型流通式操作における操作条件の影響について検討し、微生物を固定化した軽石による排水処理技術の開発を行なっている<sup>3)</sup>。

本研究は、南九州に分布する軽石の特性と鹿児島県の特産である竹炭を利用して水質の浄化を目的とし、軽石および竹炭表面に膜状に微生物を付着させ、管型流通式操作における操作条件のおよぼす影響について検討する。



a) 軽石 (30 倍) b) 竹炭 (30 倍)

図 1 軽石および竹炭の実体顕微鏡写真

### 3 試験概要

#### (1) 試料

軽石は、第四紀地質時代における噴出源を始良火山由来とし、鹿児島県垂水市および鹿屋市を主な分布地として甚大に埋蔵している<sup>4)</sup>。表 1 に微生物固定に用いた軽石および竹炭の物理的性質を示す。比重は、内包する空隙を十分すりつぶした真比重であり、火山由来の火山ガラス（比重約 2.2）より軽石、竹炭ともに小さな値を示している。吸水率値は、試料に対する含有する水分量の質量比を表しており、軽石、竹炭が共に多孔質で、比表面積の大きな素材であることを示している。また、実績率は、管型流通式反応器の設計をする際の軽石および竹炭の充填の算定に必要な値のつで、水が流動可能な容積を表している。

軽石および竹炭の実体顕微鏡写真の一例を示したものが図 1 (a) (b) である。図からも軽石、竹炭ともに多孔質で比表面積の大きな素材であることが確認できる。軽石と竹炭は表 1 と図 1 より吸水率の面では軽石より竹炭のほうが 2 倍程度高い値を示すもののほぼ同様な物理的性質を示している。

また、軽石を使用した試験は、先行して行なった竹炭と比較するために、ふるい分け試験<sup>5)</sup>し、粒度分布を竹炭の粒度加積曲線に合わせ、図 2 の粒度加積曲線上に乗るように軽石の粒度の調節を実施した。

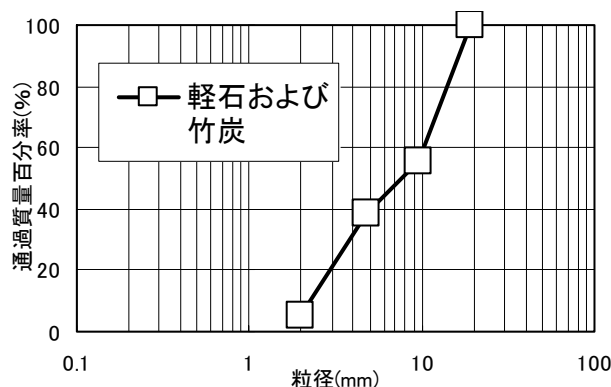


図 2 粒度加積曲線

#### (2) 軽石および竹炭への微生物付着

図 3 および図 4 に示すような内径 3.5cm、長さ 40cm のアクリル製のカラム (管型) に大きさが 0.2~2cm の軽石を充填させ、人工排水を  $3.33 \times 10^{-1} \sim 5.00 \times 10^{-1}$  l/s の流量で曝気させながら循環させた。カラムを入れた恒温槽内温度はデジタルサーモペット (NTT-1200) を用いて 25℃に維持した。

#### (3) 管型流通式処理試験

表 2 の人工排水により 3 ヶ月間カラム内で微生物を馴養させ充填した軽石および竹炭に微生物膜を付着させた。その後、このカラムに表 3 の人工排水 (2000ml) を曝気させながら流通させる管型流通式処理操作を行った。水質浄化能力に対する流量の影響を検討するた

表 1 試料の物理的性質

	比重	単位容積質量(g/cm <sup>3</sup> )	吸水率(%)	実績率(%)
軽石	1.262	0.332	55.413	40.27
竹炭	1.223	0.223	115.373	40.44

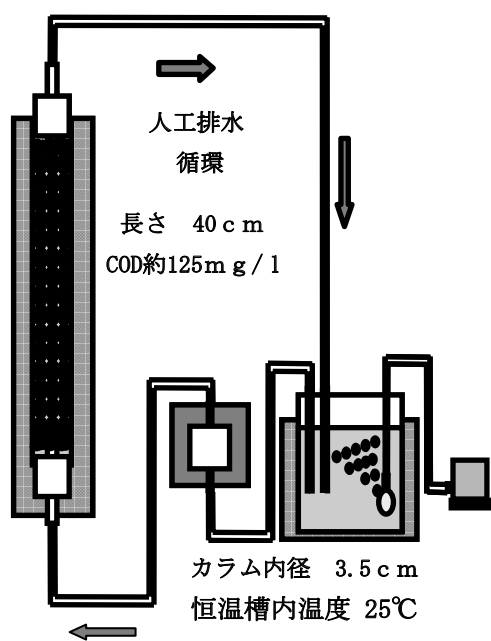


図 3 微生物付着試験

め、流量を  $2.50 \times 10^{-1} \sim 7.50 \times 10^{-1}$  l/s まで変化させ、それぞれ COD の経時変化を測定し COD 除去率変化を調べた。pH はカラム流入前が 6.5 前後で、カラム流入後が約 6.0 であった。COD は、COD メーター（飯島電子株 C-331）を、pH は、pH メーター（東亜電波工業株 IM-20E）を用いて測定した。

#### (4) COD の測定

COD：一定の強力な酸化剤（過マンガン酸カリウム溶液）を用いて検水进行处理し、その際消費される酸化剤の量を酸素に換算して表したもの。対象となる被酸化物は、主として有機物質であるが、第一鉄塩、亜硝酸塩、ならびに硫化物なども含まれ、下水、工場排水、し尿による汚濁の指標となる。COD の測定には COD メーター C-331 を用いた。

## 4 結果及び考察

### (1) 管型流通式処理

#### a) カラム内担体実績率

（軽石 40.27%，竹炭 40.44%）

図 5 は軽石と竹炭の各流量（ $2.50 \times 10^{-1}$  [l/s]， $4.17 \times 10^{-1}$  [l/s]， $5.83 \times 10^{-1}$  [l/s]， $7.50 \times 10^{-1}$  [l/s]）における COD 除去率の時間的变化を示したものである。



図 4 恒温槽内のカラム（槽内温度 25℃）

表 2：人工排水組成<sup>6)</sup>（COD 約 125mg/l）

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-----21.7mg/l
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-----6.6mg/l
NaHCO <sub>3</sub>	-----37.5mg/l
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-----56.3mg/l
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	-----37.5mg/l
NaCl	-----37.5mg/l
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	-----200mg/l
POLYPEPTON	-----40mg/l

表 3：人工排水組成<sup>6)</sup>（COD 約 21mg/l）

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-----5.56mg/l
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-----1.69mg/l
NaHCO <sub>3</sub>	-----9.6mg/l
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-----14.46mg/l
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	-----9.6mg/l
NaCl	-----9.6mg/l
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	-----51.2mg/l
POLYPEPTON	-----10.24mg/l

また、液温は 25℃ 一定とした。流量が小さい  $2.50 \times 10^{-1}$  [l/s]， $4.17 \times 10^{-1}$  [l/s] では時間とともに、COD 除去率は上昇した。これは流量が小さいためにカラム内の排水滞留時間が長くなったため、微生物の排水への接触時間が長くなったことに起因すると考えら

れる。逆に  $5.83 \times 10^{-4} [l/s]$ ,  $7.50 \times 10^{-4} [l/s]$  は流量が大きいために、微生物の処理速度がおいつかず、竹炭では40分、軽石では30分でCOD除去率は低下する。これらの結果よりCOD除去率は流量によって大きく影響を受けることがわかる。

鹿児島県の場合、河川の水温は約30℃から約5℃ほどの間で変化すると考えられる。図6は、軽石と竹炭の各温度の違いにおけるCOD除去率の時間的変化を示したものである。各温度とも時間の経過とともにCODが減少しており、微生物により有機物分解が進行していることがわかる。32.1℃では軽石、竹炭とも60分後に約80%近く除去されているのに対し、軽石の5.7℃では40%、竹炭では30%程しか減少しなかった。この事から温度を下げるに従ってCODの除去率は大きく低下し、温度の影響が極めて大きいことがわかる。

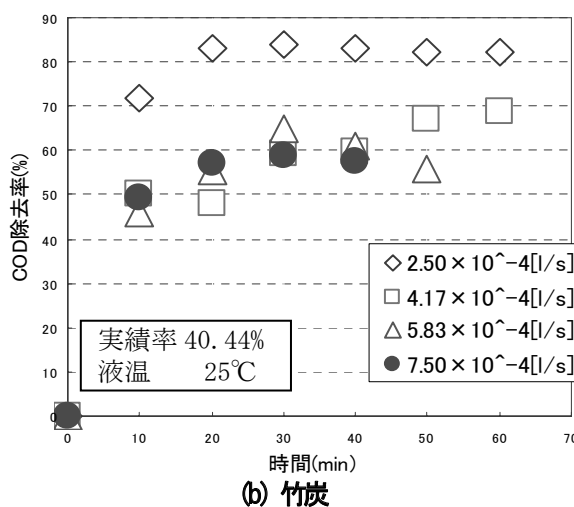
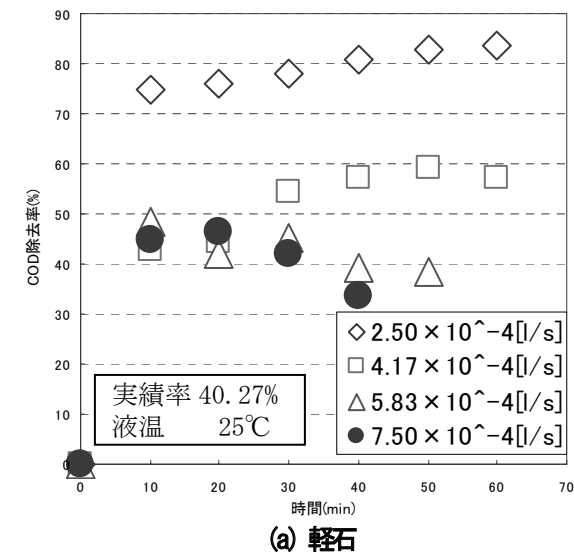


図5 COD除去率と流量の関係

## b) カラム内担体実績率(軽石 20.14%)

図7は、カラム内の軽石の実績率を40.27%の1/2にして、微生物を今までと同じ条件下で馴養させた時のCODの除去率を示したものである。微生物を馴養し始めてから1週間、2週間と馴養する期間が長いほど微生物の量は増えて、3週間ほどで微生物の量は安定した。これは図7からわかるように、1, 2週間後には、COD除去率は60分で約70%程度、3, 4週間後では約80%とCOD除去率に顕著な差がみられる。また、図7と前述の図6を比較すると、実績率を1/2にしても除去率は、前回とほぼ同様であった。

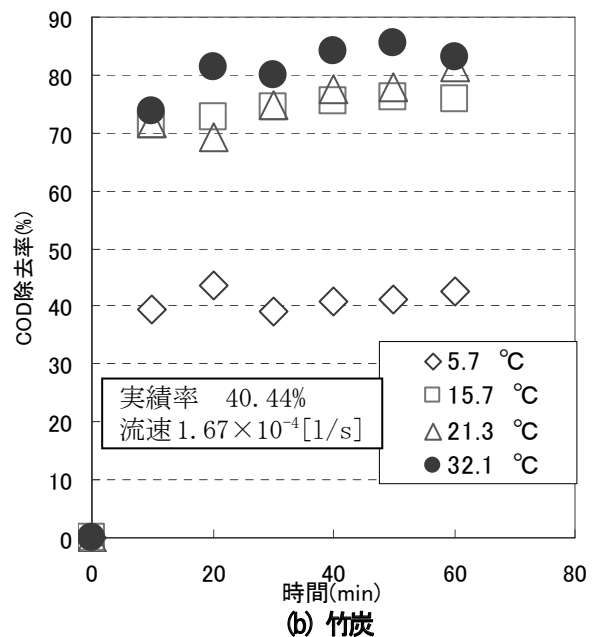
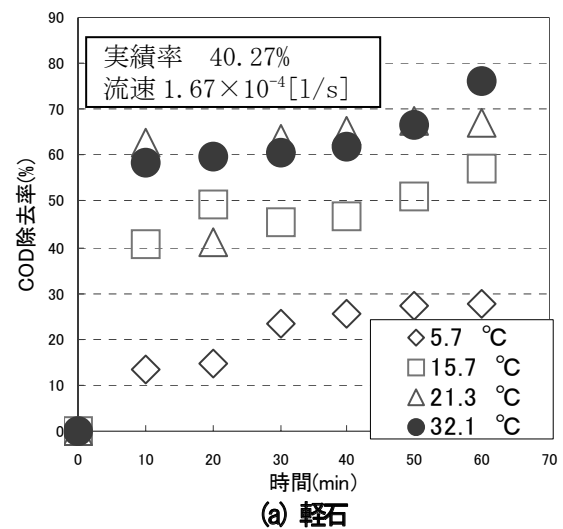


図6 COD除去率と液温の関係

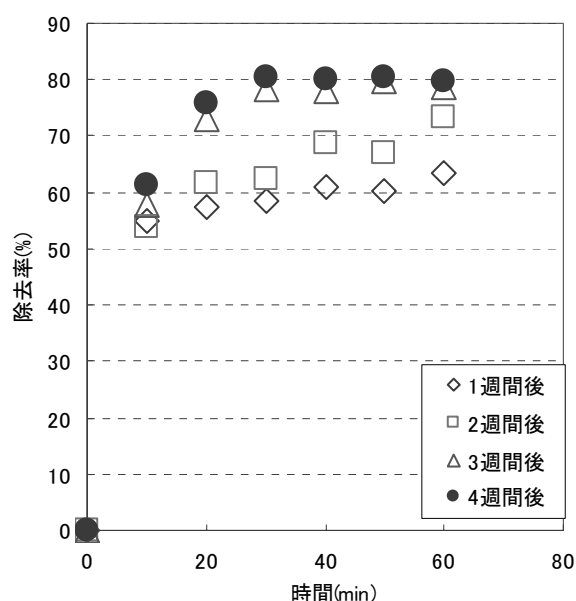


図 7 軽石のCOD除去率と  
馴養期間の関係

## (2) 軽石に付着した微生物

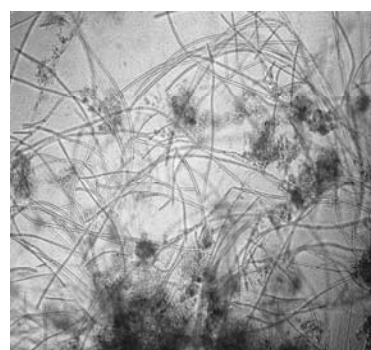
図8はカラムの上層部に出現した細菌である。カラムの軽石表層部に近い部分は黄褐色から乳白色の細菌のフロックが見られ、その外側に糸状菌が出現した。糸状体は鞘と隔壁を持ち枝分かれする。鞘は同じ幅で伸び、長いものは700~800 $\mu\text{m}$ 、先端は基部より細くなる。

図9はカラムの中層部に出現した細菌である。上部同様、軽石表層部に近い部分は黄褐色から乳白色の細菌のフロックが見られ、その外側に上部と同じ種類の糸状菌が出現する。糸状体は上部ほど発達しない。

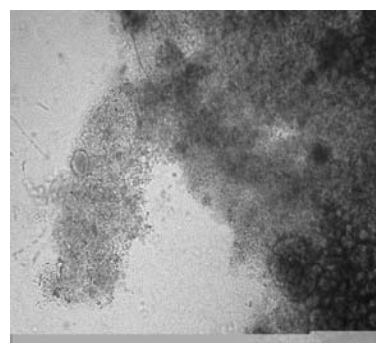
図10はカラムの下層部に出現した細菌である。表層部に近い部分は黄褐色から乳白色の細菌のフロックが見られ、その外側に上部と同じ種類の糸状菌が出現する。糸状体は上部と同程度に発達する。反応管表面部に少量の紅色硫黄細菌が出現した。また、流入口付近では原生動物繊毛虫類 *Colupidium* が出現した。これはこの付近の溶存酸素と汚濁濃度が生存に適していたためと考えられる。黄褐色から乳白色の細菌は通性嫌気性菌から嫌気性の菌群と考えられ、糸状菌はこれらのフロックより空隙に向かって糸状体が形成されることから、前者より好気性菌であると考えられる。

## (3) 滞留時間と反応率の関係

本研究の流通式試験の微生物の有機物分解反応は、一時反応であると考えられる<sup>1) 2)</sup>。

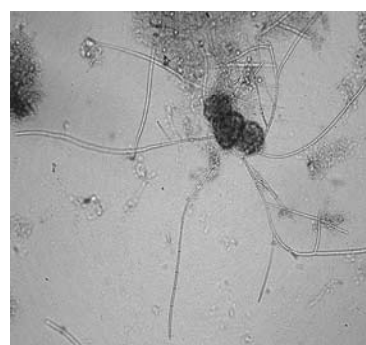


(a) 細菌のフロックを土台として広がる糸状菌



(b) フロック状となった細菌

図 8 カラムの上層部に出現した細菌



(a) 細菌のフロックを土台として広がる糸状菌



(b) フロック状になった細菌と紅色細菌

図 9 カラムの中部に出現した細菌

従って、反応速度式は次式ようになる。

$$-r = kC_0(1-x) \text{ ----- (1)}$$

上式を管型反応器の設計方程式

$$\frac{V}{F_0} = \int_0^x \left( \frac{1}{-r} \right) dx \text{ ----- (2)}$$

に代入すると、

$$\frac{V}{F_0} = \int_0^x \left\{ \frac{1}{kC_0(1-x)} \right\} dx \text{ ----- (3)}$$

積分すると、

$$\frac{kVC_0}{F_0} = -\ln(1-x) \text{ ----- (4)}$$

ここで、 $F_0 = v_0 C_0$  なので

$$\frac{kVC_0}{(v_0 C_0)} = -\ln(1-x) \text{ ----- (5)}$$

よって、

$$\frac{kV}{v_0} = -\ln(1-x) \text{ ----- (6)}$$

$C_0$  = 入口 COD (mg/l)

$C$  = 出口 COD (mg/l)

$v_0$  = 入口体積流量 (l/s)

$F_0$  = 入口 COD 流入速度 (mg/s)

$k$  = 速度定数 (s<sup>-1</sup>)

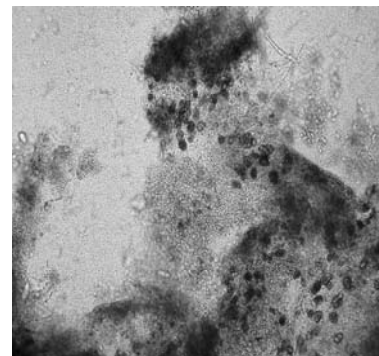
$V$  = 竹炭層容積 (l)

ここで、 $\frac{V}{v_0}$  は試料層を通過する滞留時間であり、

$-\ln(1-x)$  の対数は、滞留時間に比例して増加することになる。図 11 より流量が  $4.17 \times 10^{-1}$  [l/s] と  $5.83 \times 10^{-1}$  [l/s] では反応率は、上昇していないが流量を少なくし滞留時間を増加させると、反応(除去)率も大きくなり(6)式とほぼ一致する傾向を示した。



(a) 細菌のフロックを土台として広がる糸状菌



(b) フロック状になった細菌と紅色細菌

図 10 カラムの下部に出現した細菌

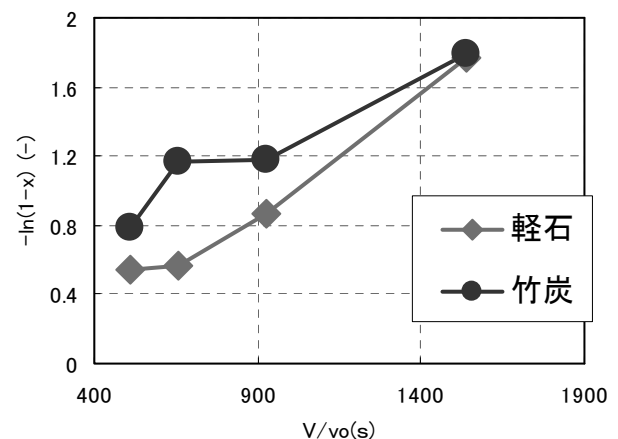


図 11 COD 除去率と滞留時間の関係

## 5 あとがき

本研究では、南九州に分布する軽石および竹炭の特性を利用して河川水の浄化を目的とした基礎的試験を行い、排水処理初期の変化について検討を行った。本研究で得られた結論を以下に要約する。

- (1) 微生物を固定した軽石を用いた管型流通式排水処理における COD 除去率は、通水流量、温度に大きく影響を受けるが、実績率を変えてもほとんど変化が見られなかった。
- (2) 反応管の上、中、下に共通して出現したものは黄褐色から乳白色の細菌が出現した。糸状菌はカラムの下部に最も多く出現したが全体としては少なかった。また、カラムの下部には光合成細菌と *Colupidium* その他の繊毛虫類が出現した。その他の細菌は同定できなかった。
- (3) 管型流通式処理の微生物による有機物分解反応は、ほぼ 1 次反応とみなすことができる。

## 謝辞

本研究は、平成 16 年度及び 17 年度の鹿児島工業高等専門学校校内研究助成金ならびに平成 17 年度及び 18 年度の科学研究費補助金（基盤研究(C)）を受けて行われた。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 佐藤祐一：微生物を固定化した竹炭による水質浄化技術の開発，平成 13 年度卒業論文 鹿児島大学工学部応用化学工学科 p. 39, 2002.
- 2) 大竹孝明：微生物を固定化した竹炭による水質浄化技術の開発，文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書 pp. 55-56, 2002.
- 3) 下園広喜：微生物を固定した軽石による排水処理技術の開発，平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会 第Ⅶ部門 pp. 1105-1106, 2006.
- 4) 鹿児島県地質図編集委員会：鹿児島県の地質 鹿児島市 鹿児島県 1990 pp. 94-96.
- 5) 土木材料実験教育研究会：[改訂新版]新示方書による土木材料実験法 東京都 鹿島出版会 2000 pp. 34-38.
- 6) 馬場秀二：微生物を固定化した竹炭による水質浄化技術の開発，平成 15 年度卒業研究論文 国立鹿児島工業高等専門学校 p. 28, 2004.